

**Forming tool manufacturing method involves successive hardening of powdere and machining the edges while the emerging pr duct is still surrounded by pov**

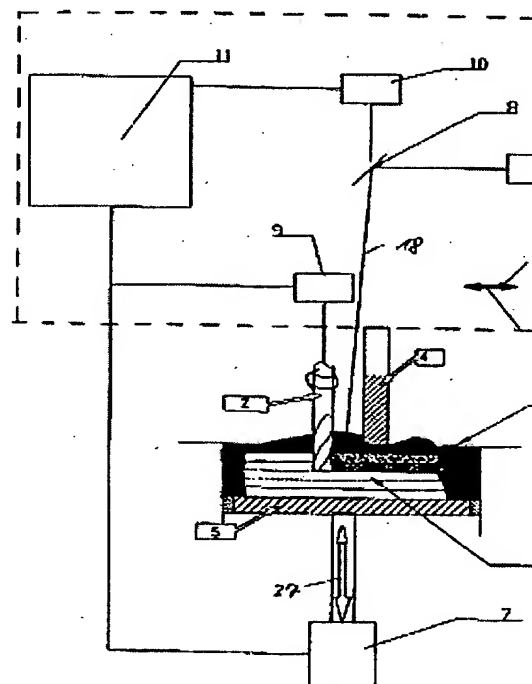
**Patent number:** DE10065960  
**Publication date:** 2001-12-20  
**Inventor:** SIEVERS TIM (DE); LOHNER ANDREAS (DE)  
**Applicant:** BU ST GMBH BERATUNGSUNTERNEHME (DE)  
**Classification:**  
- international: B22F3/105  
- european: B22F3/105S; B29C67/00L; B29C67/00L2  
**Application number:** DE20001065960 20000607  
**Priority number(s):** DE20001028063 20000607

Also published as

WO019411  
WO019411  
US200306

**Abstract of DE10065960**

Powdered material(3) is successively built up in horizontal layers(n) and hardened by electromagnetic radiation or particle radiation(18) so that each layer has two vertical side faces and a horizontal upper face. The sidewalls are fine machined by a mechanical method while the workpiece is still surrounded by the powdered material. An Independent claim is made for the process equipment which includes a vertically movable working table(5), a processing unit(20), which moves vertically and horizontally and a control unit (11). The processing unit has a radiation source(6) and a mirror arrangement(8) controlled by an operating unit(10) which directs the radiation beam(18) over the desired area of the working table. A mechanical machining tool is also included in the processing unit.



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

D2



①9 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 65 960 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**B 22 F 3/105**

⑳ Aktenzeichen: 100 65 960.8  
㉔ Anmeldetag: 7. 6. 2000  
㉕ Offenlegungstag: 20. 12. 2001

**DE 100 65 960 A 1**

㉗ Anmelder:  
(bu:st) GmbH Beratungsunternehmen für Systeme  
und Technologien, 80799 München, DE

㉘ Vertreter:  
Patentanwälte Bosch, Graf v. Stosch, Jehle, 80333  
München

㉚ Teil aus: 100 28 063.3

㉛ Erfinder:  
Lohner, Andreas, Dr., 85640 Putzbrunn, DE; Sievers,  
Tim, 80636 München, DE

㉞ Entgegenhaltungen:  
DE 196 49 865 C1  
DE 195 33 960 C2

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉟ Verfahren zur Herstellung eines Werkstückes mit exakter Geometrie

㊱ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks exakter Geometrie und hoher Oberflächengüte insbesondere eines Formwerkzeuges. Vorzugsweise rechnergesteuert wird das Werkstück durch Verfestigung vieler übereinander aufgetragener Pulverschichten aufgebaut. Nach der Pulververfestigung folgt eine mechanische Feinbearbeitung der Oberflächen, wobei während der gesamten Bearbeitung das zu bildende Werkstück von pulverförmigem Ausgangsmaterial umgeben ist.

**DE 100 65 960 A 1**

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Werkstückes mit exakter Geometrie und hoher Oberflächengüte, insbesondere eines Formwerkzeuges durch aufeinanderfolgendes Verfestigen von schichtweise aufgetragenem pulverförmigem Ausgangsmaterial mittels elektromagnetischer Strahlung oder Teilchenstrahlung und durch nachfolgende mechanische Feinbearbeitung der Oberflächen.

[0002] Ein Verfahren der vorbezeichneten Art ist aus der DE 195 33 960 C2 bekannt. Bei dem bekannten Verfahren wird jeweils eine Materialschicht in Form einer Spur auf einer Unterlage aufgebracht und danach mittels Laserstrahl aufgeschmolzen bzw. verfestigt. Danach wird eine zweite Schicht aufgebracht und verfestigt usw., wobei sich die Anzahl der aufgetragenen und jeweils mittels Laserstrahl verfestigten Schichten nach der gewünschten Höhe des Werkstücks richtet. Jeweils beim Aufbringen einer neuen Schicht verbindet sich diese mit der Oberfläche der vorher aufgetragenen Schicht. Nach der pulvermetallurgischen Herstellung des Werkstücks erfolgt eine Feinbearbeitung sowohl der Seitenflächen als auch der Oberfläche mittels spanabhebender Bearbeitung. Es wird bei dem bekannten Verfahren darauf geachtet, dass ungeschmolzenes Pulver jeweils aus dem Arbeitsbereich durch Wegblasen oder Absaugen entfernt wird.

[0003] Mit dem bekannten Herstellungsverfahren können vergleichsweise kurze Herstellzeiten für exakt dimensionierte Werkstücke erzielt werden wenn die Strahlungsvorrichtung und die mechanische Bearbeitungsvorrichtung rechnergestützt gesteuert werden. Ein Problem des bekannten Herstellungsverfahrens besteht darin, dass im Randbereich der hergestellten Werkstücke, d. h. also im Bereich der Seitenflächen ungleichförmige Materialkonsistenz entsteht, insbesondere Porositäten auftreten können. Zur Lösung dieses Problems wird in der eingangs genannten Druckschrift vorgeschlagen, Material über die gewünschte Konturgröße hinaus aufzuschmelzen und die deutlich überstehenden Werkstückränder mittels der nachfolgenden mechanischen Bearbeitung abzarbeiten. Mit dieser Vorgehensweise kann zwar im Bereich der Seitenflächen soviel Material abgearbeitet werden, dass man bis auf eine homogene Materialbeschaffenheit kommt; dadurch wird allerdings der Bearbeitungsaufwand sowohl was die Bearbeitungszeit als auch die Werkzeugkosten anlangt, unerwünscht hoch.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem die mechanische Feinbearbeitung der Oberflächen, was die Menge des Materialabtrags anlangt, minimiert wird und gleichzeitig hervorragende Oberflächenqualität, wie sie insbesondere bei Formwerkzeugen verlangt wird, erreichbar ist.

[0005] Erfindungsgemäß wird die gestellte Aufgabe dadurch gelöst, dass bei einem Verfahren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 das zu bildende Werkstück während der Herstellung von pulverförmigem Ausgangsmaterial umgeben ist. Vorzugsweise wird dieses Verfahrensmerkmal dadurch erzielt, dass das pulverförmige Ausgangsmaterial in Schichtstärke auf einer Unterlage über eine Fläche, welche über die Werkstückkontur hinausreicht, aufgebracht wird und die Verfestigung spurenweise erfolgt, wobei die Spurbreite der Wirkungsbreite der Strahlung entspricht. Auf diese Weise ist es möglich, durch exakte Steuerung des Verfestigungsstrahles, sei es nun ein elektromagnetischer Strahl oder ein Teilchenstrahl, die Materialeigenschaften im Bereich der Randkontur des Werkstücks einzustellen.

[0006] Es ist bekannt, dass mit zunehmender Strahllei-

stung bzw. eingebrachter Energie pro Flächeneinheit sich der Anteil an schmelzflüssiger Phase des Materials erhöht, was zu einer hohen Verdichtung des Materials und damit zu guten mechanischen Eigenschaften führt. Im unmittelbaren Randbereich des Bauteils, d. h. im Bereich der seitlichen Oberfläche wird jedoch eine solche Verfestigung des pulverförmigen Materials auch zu erhöhter Porosität führen und damit zu einer Materialstruktur, die trotz späterer mechanischer Nachbearbeitung nicht die gewünschte hohe Flächengüte ergibt. Wird nun entsprechend einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens die Verfestigung in den Randbereichen des Werkstücks durch wiederholte Bestrahlung derselben Pulverschicht erreicht, so lässt sich in einer nachfolgenden Bestrahlung Pulver aus dem nach wie vor vorhandenen Pulverbett im Bereich der Randkontur des Werkstücks in minimaler Stärke mit geringerer Strahlintensität verfestigen. Dadurch kann die nachfolgende mechanische Feinbearbeitung gering gehalten werden. Vorzugsweise erfolgt die erste Bestrahlung mit hoher Energiedichte so, dass die Wirkungsbreite der Bestrahlung gerade innerhalb entlang der Endkonturlinie des Werkstücks verläuft und eine zweite Bestrahlung gegenüber der ersten nach aussen versetzt ist und die gewünschte Endkonturlinie des Werkstücks überdeckt.

[0007] Besonders vorteilhaft im Sinne der Aufgabenstellung ist es, wenn die mechanische Feinbearbeitung der Seitenflächen des Werkstücks in umgebendem pulverförmigem Ausgangsmaterial erfolgt. Hierbei wird das umliegende Pulver, nämlich sowohl als Schleifmittel als auch als Füllmittel für die noch vorhandene Porosität im Bereich der seitlichen Oberflächen eingesetzt. Pulverpartikel werden insoweit zum Auffüllen der Poren durch Kaltverschweißung als auch als Schleifmittel zur Entfernung überstehender, bereits durch den Energiestrahle verfestigter, gebundener Partikel verwendet. Es hat sich gezeigt, dass dadurch minimale mechanische Bearbeitungstiefen ausreichen, die wiederum hohe Vorschubgeschwindigkeiten zulassen. Besonders vorteilhaft werden die geschilderten Effekte des umgebenden Materialpulvers dann erzielt, wenn die mechanische Feinbearbeitung eine Wälzfräsbearbeitung oder eine Umfangsschleifbearbeitung ist.

[0008] Eine weitere Verbesserung der Oberflächengüte ohne Erhöhung der notwendigen Bearbeitungszeit besteht darin, dass die mechanische Feinbearbeitung der Seitenflächen jeweils mehrere der zuletzt aufgetragenen Materialschichten (Schicht n bis Schicht n-x) erfasst. Dies führt im Ergebnis dazu, dass die Seitenfläche jeder Schicht, die letztendlich die seitliche Oberfläche des Werkstücks bildet, mehrfach mechanisch bearbeitet wird.

[0009] Anhand der beigefügten Zeichnungen wird das erfindungsgemäße Verfahren beispielhaft erläutert. In den Zeichnungen zeigt

[0010] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens und

[0011] Fig. 2 eine Draufsicht auf ein herzustellendes Werkstück mit schematischer Darstellung der Pulververfestigung und der mechanischen Feinbearbeitung.

[0012] In der Anordnung nach Fig. 1 ist das herzustellende Werkstück mit 1 bezeichnet. Die Herstellung erfolgt in der Weise, dass auf einem Arbeitstisch 5, der mittels einer Hubvorrichtung 7 entsprechend der Pfeilrichtung 27 vertikal auf- und abfahrbar ist, pulverförmiges Ausgangsmaterial 3 in einer genau festgelegten Schichtstärke s aufgebracht wird. Die Ausgangsschichtstärke ist gleich der mit der Schicht n, Schicht n-1 oder Schicht n-2 in der Skizze dargestellten Schichtstärke. Die Fläche des aufgetragenen pulverförmigen Ausgangsmaterials muß dabei über die ge-

wünschte Werkstückendkontur hinausreichen.

[0013] Oberhalb des Arbeitstisches 5 ist eine Bearbeitungseinheit 20 angeordnet, die in ihrer Gesamtheit entsprechend Pfeilrichtung 29 sowie vorzugsweise senkrecht zur Zeichenebene bewegbar ist. Die Bewegung der Bearbeitungseinheit 20 wird rechnergestützt gesteuert von einem Steuergerät 11, welches auch gleichzeitig die Hubbewegung des Arbeitstisches 5 ansteuert. Die Bearbeitungseinheit 20 umfasst im wesentlichen eine Strahlenquelle 6, einen oder mehrere von einer Betätigungseinheit 10 betätigten Spiegel oder eine vergleichbare Lenkeinrichtung für den aus der Bestrahlungsquelle 6 austretenden Strahl 18, um diesen durch Zweikoordinatenansteuerung entsprechend der gewünschten Bauteilkontur auf dem Arbeitstisch 5 zu lenken. Zusätzlich zur Bestrahlungseinrichtung 6, 8, 10 umfasst die Bearbeitungseinheit 20 noch eine Bearbeitungsvorrichtung zur mechanischen Feinbearbeitung. Im gezeigten Ausführungsbeispiel handelt es sich dabei um ein Fräswerkzeug 2 mit entsprechender Antriebseinheit 9, die ebenfalls von der Steuereinheit 11 angesteuert wird. Schließlich ist an der Bearbeitungseinheit 20 noch eine Abrichtleiste 4 vorgesehen, mit der pulverförmiges Ausgangsmaterial 3, das auf den Arbeitstisch 5 gebracht wurde, durch Querbewegung der Bearbeitungseinheit 20 relativ zum Arbeitstisch 5 in konstanter Schichtstärke verteilt werden kann. Die Abrichtleiste 4 kann gleichzeitig als Zuführvorrichtung für das pulverförmige Ausgangsmaterial 3 ausgebildet sein.

[0014] Nach dem Aufbringen der ersten Schicht des pulverförmigen Ausgangsmaterials 3 auf den Arbeitstisch 5 wird durch entsprechende Steuerung des Strahles 18 und nach Bedarf zusätzlich durch Relativbewegung der Bearbeitungseinheit 20 zum Arbeitstisch 5 und das Ausgangsmaterial in einer gewünschten Spur verfestigt. Der Bestrahlung und Verfestigung des pulverförmigen Ausgangsmaterials folgend kann das Fräswerkzeug 2, welches eine Wälzfräsbearbeitung ausführt, mit den der Endkontur des Werkstückes entsprechenden Bewegungskordinaten den seitlichen Rand der ersten verfestigten Materialschicht bearbeiten. Mit Herstellung der zweiten Schicht wird das Fräswerkzeug 2 in seiner Höhe so justiert, dass jeweils die beiden zuletzt erzeugten Materialschichten seitlich fein bearbeitet werden. Anstelle nur der beiden zuletzt aufgebrachten Schichten kann das Werkzeug auch so eingestellt werden, dass es mehrere Schichten erfasst; allerdings wird dadurch die notwendige freie Werkzeugschaftlänge größer, weshalb die Zahl der erfassten Schichten und damit die Zahl der Mehrfachbearbeitungen jeder einzelnen Schicht begrenzt sein sollte. Nach dem Arbeitsschritt der Bestrahlung und Verfestigung der Materialschicht und der eventuellen Nachbearbeitung wird die nächste Schicht von pulverförmigen Ausgangsmaterial über die Abrichtleiste 4 bzw. die Zuführvorrichtung aufgebracht. Anschließend findet die Verfestigung der nächsten Materialschicht oder -schichten statt. Jeweils nach einer aufgebrachten und verfestigten Schicht wird mittels der Hubvorrichtung 7 der Arbeitstisch 5 um eine Schichthöhe abgesenkt. Durch die Zweikoordinatensteuerung des Verfestigungsstrahles und gegebenenfalls der Bearbeitungseinheit 20 lassen sich sehr kompliziert geformte Werkstücke ausbilden, insbesondere solche Werkstücke mit sehr tiefen Einschnitten bzw. Nuten.

[0015] Die Draufsicht gemäß Fig. 2 veranschaulicht die Erzeugung des Randbereichs eines im wesentlichen rechteckigen Kontur aufweisenden Werkstücks. Das Werkstück soll eine Endkonturlinie 14 aufweisen. Um hohe Oberflächengüte der seitlichen Oberflächen entsprechend der Endkonturlinie 14 zu erhalten, wird der Randbereich des Werkstücks wiederholt bestrahlt und eine erste Bestrahlung erfolgt entsprechend der eingezeichneten Spur 16 mit hoher Ener-

giedichte, wobei die Wirkungsbreite der Bestrahlung also die Spurbreite innerhalb der Endkonturlinie 14 verläuft. Eine zweite Bestrahlung mit vorzugsweise geringerer Energiedichte, entsprechend der Spur 17, ist gegenüber der ersten nach außen versetzt und überdeckt die gewünschte Endkonturlinie 14 des Werkstücks. Die Verfestigungsspur 17 ist dabei deutlich schmaler als die erste Spur 16. Aufgrund der geringen Energiedichte in der Spur 17 braucht diese nur minimal über die Endkonturlinie 14 hinauszureichen, um anschließend mittels der Wälzfräsbearbeitung die durch die Darstellung des Fräswerkzeugs 2 angedeutet ist eine sehr hohe Oberflächengüte der Seitenfläche entlang der Endkonturlinie 14 zu erzielen. Die gleichen Verhältnisse wären erreichbar bei schmalen Nuten oder Einsenkungen im mittleren Bereich des Werkstücks 1.

[0016] Abschließend kann nach Aufbringung und Verfestigung der obersten Materialschicht eine mechanische Feinbearbeitung der Deckfläche(n) des Werkstückes erfolgen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Werkstückes mit exakter Geometrie und hoher Oberflächengüte, insbesondere eines Formwerkzeuges durch aufeinanderfolgendes Verfestigen von schichtweise aufgetragenem pulverförmigem Ausgangsmaterial (3) mittels elektromagnetischer Strahlung oder Teilchenstrahlung und durch nachfolgende mechanische Feinbearbeitung der Oberflächen, **dadurch gekennzeichnet**, daß das zu bildende Werkstück (1) während der Herstellung von pulverförmigem Ausgangsmaterial (3) umgeben ist und das pulverförmige Ausgangsmaterial (3) in Schichtstärke auf einer Unterlage über eine Fläche, welche über die Werkstückkontur hinausreicht, aufgebracht wird und die Verfestigung spurenweise erfolgt, wobei die Spurbreite der Wirkungsbreite der Strahlung (18) entspricht und eine erste Bestrahlung mit hoher Energiedichte so erfolgt, daß die Wirkungsbreite der Bestrahlung gerade innerhalb entlang der Endkonturlinie (14) des Werkstückes verläuft und eine zweite Bestrahlung gegenüber der ersten nach außen versetzt ist und die gewünschte Endkonturlinie (14) des Werkstücks überdeckt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die mechanische Feinbearbeitung der Seitenflächen in umgebendem pulverförmigem Ausgangsmaterial (3) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung eine Wälzfräsbearbeitung oder eine Umfangsschleifbearbeitung (Werkzeug 2) ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mechanische Feinbearbeitung der Seitenflächen (24) jeweils mehrere der zuletzt aufgebrachten Materialschichten (Schicht n bis Schicht n-x) erfasst.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

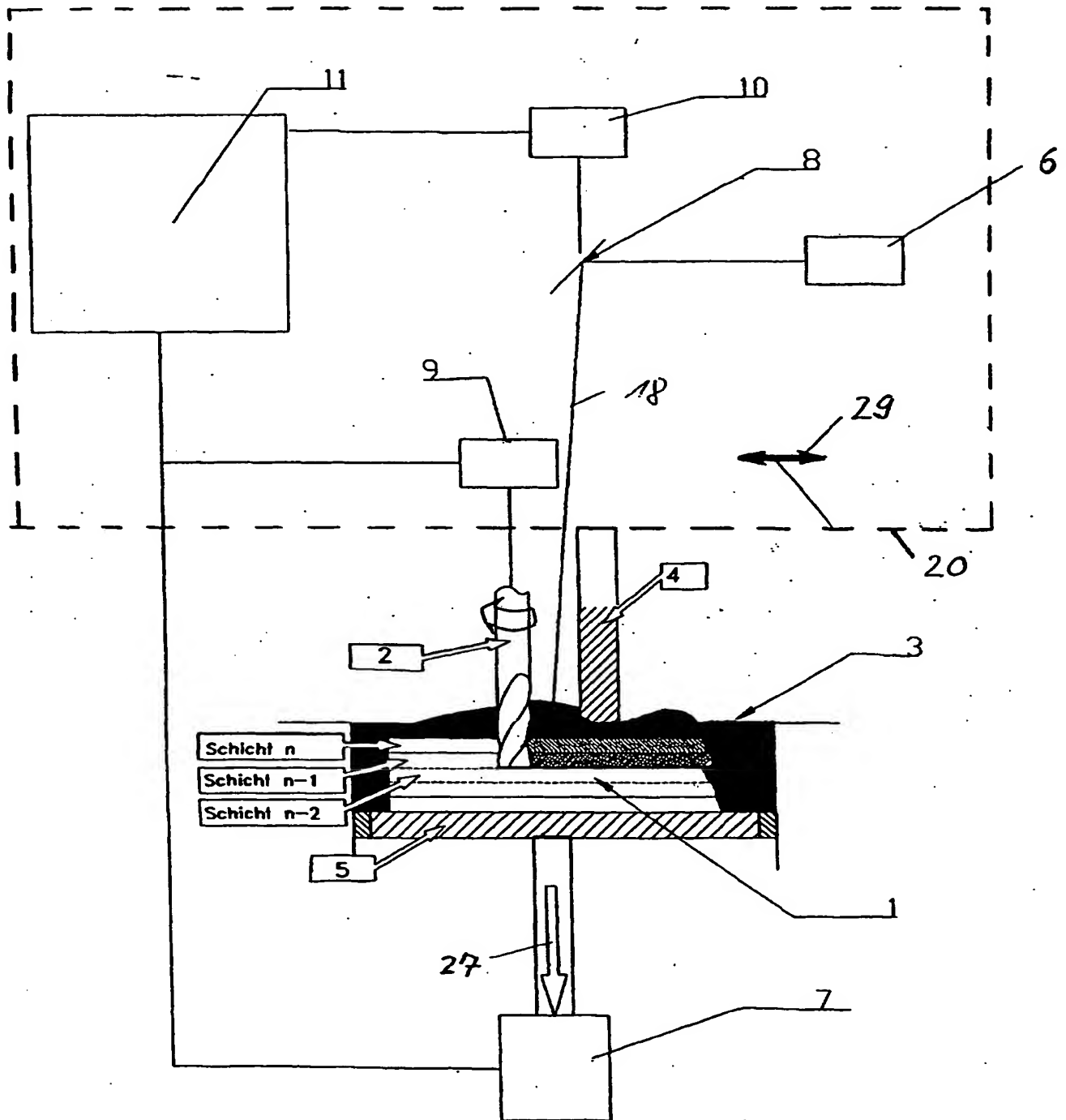


Fig. 1

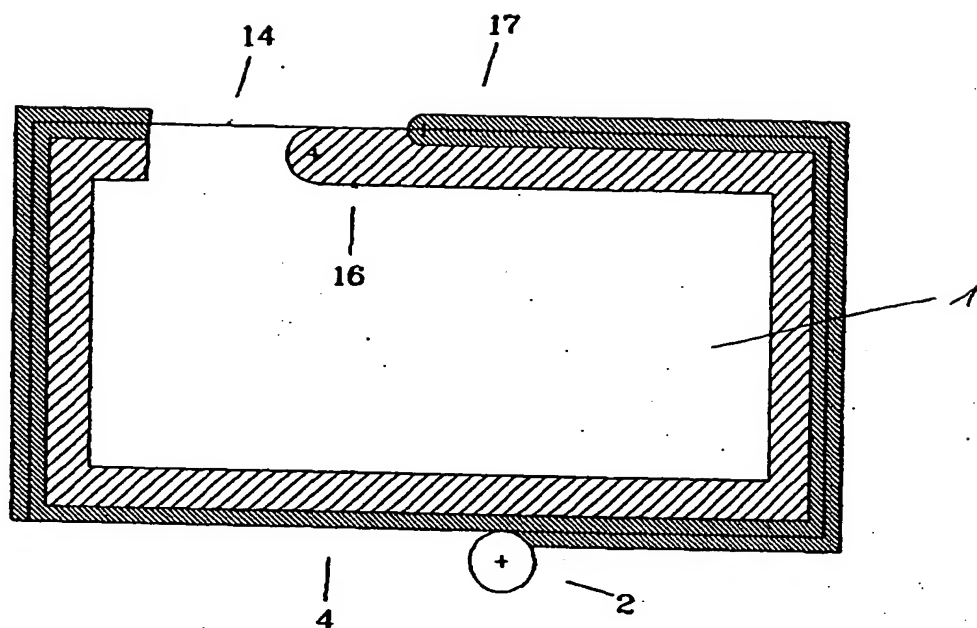


Fig. 2